Міністерство освіти і науки України

Донбаська державна машинобудівна академія

Кафедра АВП

Методичні вказівки

До практичних робіт з дисципліни

«Методологія і організація наукових досліджень»

Для студентів спеціальності 151

„Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Затверджено

На засіданні методичної ради

Протокол № від _______ 2020

Краматорськ 2020

УДК 621.9

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Методологія і організація наукових досліджень» для студентів технічних спеціальностей Укл. Г.П.Клименко. – Краматорськ : ДДМА –2020, 32 стор.

Методичні вказівки містять 5 робіт, об'єднаних загальною метою «Підвищення надійності технологічних систем». Вказівки містять теоретичний матеріал, задачі та приклади їх рішення.

Викладач Г.П.Клименко, професор

Відп. За випуск Г.П.Клименко

Зміст

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Визначення кількісних характеристик надійності виробу.

Теоретичні відомості

Випишемо формули, по яких визначатися кількісні характеристики надійності виробу

$$p(t) = \exp\,(-\int_0^1 \gamma(t)dt = 1 - \int_0^1 f(t)dt \qquad (1.1)$$

$$q(t) = 1 - p(t) \qquad (1.2)$$

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dq(t)}{dt} \qquad (1.3)$$

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{p(t)} \qquad (1.4)$$

$$m_t = \int_0^\infty p(t)\,dt \qquad (1.5)$$

де p(t) – вірогідність безвідмовної роботи виробу на інтервалі часу від 0 до t;

q(t) – вірогідність відмови виробу на інтервалі часу від 0 до t;

f(t) – частота відмов виробу або щільність вірогідності часу безвідмовної роботи виробу T;

γ(t) – інтенсивність відмов виробу;

m_t– середній час безвідмовної роботи виробу.

Формули (1.1) – (1.5) для експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробу наберуть вигляду

$$p(t) = e^{-\gamma t} \qquad (1.6)$$

$$q(t) = 1 - e^{-\gamma t} \qquad (1.7)$$

$$f(t) = y \cdot e^{-\gamma t} \qquad (1.8)$$

$$y(t) = \frac{y \cdot e^{-yt}}{e^{-yt}} = \gamma \qquad (1.9)$$

Формули (1.1) – (1.5) для експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробу наберуть вигляду

$$p(t) = 0.5 - \Phi(U) \qquad U = \frac{t - m}{\sigma} \qquad (1.10)$$

$$q(t) = 0.5 + \Phi(U) \qquad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^U e^{\frac{U^2}{2}}\ dU \qquad (1.11)$$

$$f(t) = \frac{\varphi(U)}{\sigma_t} \qquad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{U^2}{2}} \, dU \tag{1.12}$$

$$\gamma(t) = \frac{\varphi(U)}{\sigma_t} \cdot \frac{1}{0.5 - \Phi(U)} \tag{1.13}$$

де φ(U)– функція Лапласа, що має властивості

$$\Phi(U) = 0 \tag{1.15}$$

$$\Phi(-U) = -\Phi(U) \tag{1.16}$$

$$\Phi(\infty) = 0{,}5 \tag{1.17}$$

Значення функції φ(U) Лапласа

Тут m_t– середнє значення випадкової величини Т;

σ_t^2 – дисперсія випадкової величини Т;

Т – час безвідмовної роботи;

Формули (1.1) – (1.5) для закону розподілу Вейбулла часу безвідмовної роботи виробу має вигляд

$$p(t) = e^{-at^k} \tag{1.18}$$

$$q(t) = 1 - e^{-at^k} \tag{1.19}$$

$$f(t) = akt^{k-1} \cdot p(t) \tag{1.20}$$

$$m(t) = \frac{\frac{1}{k}\Gamma \cdot \left(\frac{1}{k}\right)}{a^{\frac{1}{k}}}$$

деa, k– параметри закону розподілу Вейбулла.

Г(x) – гамма–функція

Формули (1.1) – (1.5) для закону розподілу Релея часу безвідмовної роботи виробу має вигляд

$$f(t) = \frac{t^2}{2\sigma_t^2} \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right) \tag{1.25}$$

$$\gamma(t) = \frac{t^2}{2\sigma_t^2} \tag{1.26}$$

$$m(t) = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \tag{1.27}$$

де σ_t– міра розподілу випадкової величини Т;

Т – час безвідмовної роботи виробу.

Рішення типових завдань

Завдання 1.1 Час роботи елементу повністю підпорядкований експериментальному закону розподілу з параметром $y = 2{,}5 \cdot 10^{-5} 1/$ година.

Необхідно вичислити кількісні характеристики надійності елементу $p(t)$,$q(t)$, $f(m)$, m_t,t=1000 час.

Рішення:

Використовуємо формули (1.6), (1.7), (1.8), (1.10), для $p(t)$,$q(t)$, $f(m)$, m_t.

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи $p(t) = e^{-yt} = e^{-0.0025} = 0{,}9753$

Отримаємо:

$$p(1000) = e^{-2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = e^{-0.0025} = 0{,}9753$$

2. Вичислимо вірогідність відмови $q(1000)$. Маємо

$$q(1000) = 1 - p(1000) = 0{,}0247$$

3. Вичислимо частоту відмов

$$f(t) = \gamma(t)p(t) = 2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$
$$f(1000) = 2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000}$$

4. Вичислимо середній час безвідмовної роботи

$$m_t = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{2{,}5 \cdot 10^{-5}} = 40000 \text{ годин}$$

Завдання 1.2. Час роботи елементу повністю підпорядкований нормальному закону з параметрами $m_t = 8000$ годин, $\sigma_t = 2000$ годин. Необхідно вичислити кількісні характеристики надійності $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(m)$, m_t, для t = 1000 годин.

Рішення:

Скористаємося формулами (1.11), (1.12), (1.13), (1.14) для $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(m)$, m_t.

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи

$$p(t) = 0.5 - \Phi(U) U = \frac{t - m_t}{\sigma_t}$$
$$U = \frac{10000 - 8000}{2000} = 1 \Phi(1) = 0{,}3413$$
$$P(10000) = 0{,}5 - 0{,}3413 = 0{,}1587$$

2. Визначимо частоту відмови$f(t)$

$$f(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_t}\cdot\exp\cdot\left[\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right]$$

Введемо позначення

$$\varphi(U)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{U^2}{2}}\varphi(-U)=\ \varphi(U)$$

Тоді

$$f(t)=\ \frac{\varphi(U)}{\sigma_t};U=\frac{(t-m_t)}{\sigma_t}$$

$$f(1000)=\frac{\varphi(1)}{2000}=\frac{0.242}{2000}=12{,}1\cdot10^{-5}\ 1/\text{годин}$$

3. Розрахуємо інтенсивність безвідмовної роботи елементу

$$\gamma(t)=\frac{f(t)}{p(t)}$$

$$\gamma(10000)=\frac{f(10000)}{p(10000)}=12{,}1\cdot\frac{10^{-5}}{0.1587}=76{,}4\cdot10^{-5}\quad 1/\text{годин}$$

4.Середній час безвідмовної роботи елементу $m_t=8000$ годин

Завдання 1.3Час роботи виробу повністю підкоряється закону розподілу Релея. Потрібно вичислити кількісні характеристики надійності виробу $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(t), m_t$,t =1000 година, якщо параметр розподілу $\sigma_t = 1000$ години

Рішення:

Скористаємося формулами (1.23), (1.25), (1.27), (1.26) для $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(t), m_t$

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи p(t)

$$p(t)=\exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right)$$

$$p(1000)=\exp\left(-\frac{1000^2}{2\cdot1000^2}\right)=e^{-0.5}=0{,}606$$

2. Визначимо частоту відмови f(t)

$$f(t)=\frac{t\cdot p(t)}{\sigma_t^2}$$

$$f(1000) = \frac{1000 \cdot 0.606}{1000^2} = 0,606 \cdot 10^{-3} \quad 1/\textit{годин}$$

3. Розрахуємо інтенсивність відмов

$$\gamma(t) = \frac{t}{\sigma_t^2}$$

$$\gamma(t) = \frac{1000}{1000^2} = 10^{-3} \quad 1/\textit{годин}$$

4. Визначити середній час безвідмовної роботи виробу

$$m_t = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1000 \cdot 1,253 = 1253 \text{ годин}$$

Завдання 1.4.Час безвідмовної роботи виробу підкоряється закону Вейбулла з параметрами $k = 1,5$, $a = 10^{-4}$ 1/годин , а час роботи виробу $t = 100$ годин. Вимагається вичислити кількісні характеристики виробу $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(t), m_t$

Рішення

1. Визначимо вірогідність безвідмовної роботи $p(t)$по формулі (2.18)

2. Маємо

$$p(t) = \exp\left(-at^k\right) p(100) = \exp(10^{-4} \cdot 100^{1,5}); \qquad x = 100^{15}$$

$$\lg x = 1,5\lg 100 = 3;\ x = 100; p(100) = e^{-0,1} = 0,9048$$

3. Визначимо частоту відмов

$$\gamma(100) = \frac{f(100)}{p(100)} = 1,35 \cdot 10^{-3}$$

4. Визначимо середній час безвідмовної роботи виробу $m(t)$

$$m(t) = \frac{\frac{1}{k}\Gamma \cdot \left(\frac{1}{k}\right)}{a^{\frac{1}{k}}} = \frac{\frac{1}{1,5}\Gamma \cdot \left(\frac{1}{1,5}\right)}{10^{-4\frac{1}{1,5}}} = \frac{0,666 \cdot \Gamma(0,666)}{10^{-2,666}}$$

Оскільки $z\Gamma(z) = \Gamma(z +)$, то

$$m(t) = \frac{\Gamma(1,666)}{10^{-2,666}}$$

$$x = 10^{-2,666}; \quad \lg x = -2,666 \cdot \lg 10 = -2,666 = 3,333; \quad x = 0.00215$$

Використовуючи додатки П. 7.18 [1], отримаємо

$$m(t) = \frac{0,90167}{0,00215} = 426 \text{ годин}$$

Завдання 1.5В результаті аналізу даних про відмови апаратури частота відмов отримана у виді

$$f(t) = c_1\gamma_1 e^{-\gamma_{2t}}$$

Вимагається визначити кількісні характеристик надійності

Рішення:

1. Визначимо вірогідність безвідмовної роботи. На підставі формули (1.1) маємо

$$p(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \left[\int_0^t c_1\gamma_1 e^{-\gamma_{2t}} \cdot dt + \int_0^t c_2\gamma_2 e^{-\gamma_{2t}} \cdot dt\right] = 1 — c_1 e^{-\gamma_{2t}}{}_0^t - c_2 e^{-\gamma_{2t}}{}_0^t =$$
$$= 1 - [-c_1 e^{-\gamma_{2t}} + -c_1 - c_2 e^{-\gamma_{2t}} + c_2] = 1 - (c_1 + c_2) + c_1 e^{-\gamma_{2t}} + c_2 e^{-\gamma_{2t}}$$

Вичислимо суму $C_1 + C_2$

Оскільки $\int_0^\infty f(t)dt = 1$, тоді

$$\int_0^\infty c_1\gamma_1 e^{-\gamma_{2t}} \cdot dt + \int_0^\infty c_2\gamma_2 e^{-\gamma_{2t}} \cdot dt = c_1 + c_2$$

Тоді

$$p(t) = c_1 e^{-\gamma_{2t}} + c_2 e^{-\gamma_{2t}}$$

2. Знайдемо залежність інтенсивності відмов від часу по формулі

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{c_1\gamma_1 e^{-\gamma_{2t}} + c_2\gamma_2 e^{-\gamma_{2t}}}{c_1 e^{-\gamma_{2t}} + c_2 e^{-\gamma_{2t}}}$$

3. Визначимо середній час безвідмовної роботи апаратури. На підставі формули (1.5)

$$m(t) = \int_0^\infty p(t)dt = c_1 \int_0^\infty e^{-\gamma_2 t} dt + c_2 \int_0^\infty e^{-\gamma_2 t} dt = \frac{c_1}{\gamma_1} + \frac{c_2}{\gamma_2}$$

Завдання для самостійного вирішення.

Завдання 1.6. Вірогідність безвідмовної роботи автоматичної лінії виготовлення циліндрів автомобільного двигуна в течії 120 година рівна 0,9. Пропонується, що справедливий експоненціальний закон надійності. Вимагається розрахувати інтенсивність відмов і частоту відмов лінії для моменту часу $t = 120$ годину, а так само середній час безвідмовної роботи.

Завдання 1.7. Середній час безвідмовної роботи автоматичної системи управління дорівнює 640 годин. Передбачається, що справедливий експоненціальний закон надійності. Необхідно визначити вірогідність безвідмовної роботи на протязі 120 годин. Частоту відмов для моменту часу $t = 120$ годину і інтенсивність відмов.

Завдання 1.8. Час роботи виробу підпорядкований нормальному закону з параметрами m_t, для $t = 8000$ годин.

Завдання 1.9. Час безвідмовної роботи приладу підпорядкований закону Релея з параметром $\sigma_t = 1860$ годин. Необхідно вичислити $p(t)$,$\gamma(t)$, $f(t)$, m_t, для t =1000 година і середній час безвідмовної роботи приладу.

Завдання 1.10. Час справної роботи швидкісних шарикопідшипників підпорядкований закону Вейбулла з параметрами $k = 2{,}6$, $a = 1{,}65 \cdot 10^{-7}$ 1/година.

Завдання 1.11. Вірогідність безвідмовної роботи виробу в течії $t = 1000$годину,$p(1000) = 0{,}95$. Час справною підпорядкований закону Релея. Вимагається визначити кількісні характеристики надійності $p(t)$,$\gamma(t)$, m_t.

Завдання 1.12. Середній час справної роботи виробу дорівнює 1260 годин. Час справної роботи підпорядкований закону Релея. Необхіднознайти його кількісні характеристики надійності виробу$p(t)$,$\gamma(t)$, $f(t)$, m_t, для $t = 1000$годин.

Завдання 1.13. В результаті аналізу даних про відмови виробу встановлено, що частота відмов має вигляд $f(t) = 2\gamma e^{-\gamma t}(1 - e^{-\gamma t})$. Необхідно знайти кількісні характеристики надійності p(t), y(t), m_t.

Завдання 1.14. В результаті аналізу даних про відмови виробів встановлено, що вірогідність безвідмовної роботи виражається формулою $p(t) = 3e^{-\gamma t} - 3e^{-2\gamma t} + e^{-3\gamma t}$.

Завдання 1.15. Визначити вірогідність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов приладу при $t = 1300$годин роботи, якщо при випробуваннях отримано значення середнього часу безвідмовної роботи $m_t = 1500$ годин . І середнє квадратичне відхилення $\sigma_t = 100$ годин.

ПРАКТИЧНЕЗАНЯТТЯ № 2

Визначення кількісних характеристик надійності за статистичними даними про відмови вироби.

Теоретичні відомості

Імовірність безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови оцінюється виразом

$$P \cdot (t) = \frac{n(t)}{N} \tag{2.1}$$

где $n(t)$ – число виробів, які не відмовили до моменту часу t;

N –число виробів, поставлених на випробування;

$P \cdot (t)$ – статистичнаоцінкаймовірностібезвідмовноїроботивироби.

Для ймовірності відмови за статистичними даними справедливо співвідношення

$$q \cdot (t) = \frac{n - N(t)}{N} \tag{2.2}$$

где $n - N(t)$ – число виробів, яківідмовили до моменту часу t;

$q \cdot (t)$ – статистична оцінка ймовірності відмови вироби.

Частота відмов за статистичними даними про відмови визначається виразом

$$f \cdot (t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} \tag{2.3}$$

где $\Delta n(t)$ – число відмовиливиробів на ділянці часу (t, t–$N \cdot \Delta t$);

$f \cdot (t)$ – статистична оцінка частоти відмов вироби;

Δt – інтервал часу.

Інтенсивність відмов за статистичними даними про відмови визначається формулою

$$\lambda \cdot (t) = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot n(t)} \tag{2.4}$$

где n(t) – число виробів, які не відмовили до моменту часу t;

$\Delta n(t)$ – число відмовиливиробів на ділянці часу (t, t+Δt);

$\Delta t \cdot n(t)$ – статистична оцінка інтенсивност івідмов вироби.

Середній час безвідмовної роботи вироби за статистичними даними оцінюється виразом

$$m_t = \frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N} t_i \tag{2.5}$$

где t_i – час безвідмовної роботи i– говироба;

N – загальне число виробів, поставлених на випробування;

m – статистична оцінка середнього часу безвідмовної роботи вироби.

Для визначення m_t по формуле (1.5) необхідно знати моментивиходу з ладу всіх N виробів. Можнавизначатиm_t *з рівняння

$$m_t \approx \Sigma_{i=1}^{m} n_i t_{cpi} \tag{2.6}$$

где n_i – кількість поламаних виробівв Ш інтервалі часу;

$t_{cpi} = \frac{t_{i-1}+t_i}{2}$; $m = t_k/\Delta t$; $\Delta t = t_{i+1-t_i}$; t_i–час початку i–гоінтервалу;

ti – час кінця i–гоінтервалу, tк 1 час, протягом якого вийшли з ладу всі вироби;

At – інтервал часу.

$$D_t = \frac{1}{N-1}\Sigma_{i=1}^{n}(t_i - m_t)^2 \tag{2.7}$$

где D_t – статистична оцінка дисперсії часу безвідмовної роботи вироби.

<u>Рішення типових задач</u>

Завдання 2.1. Випробування поставлено 1000 однотипних електронних ламп, за 300 (Р годину. Відмовило 80 ламп. Потрібно визначитиP (t), q (t) при t = 3000 год.

Рішення. В данному випадку N = 1000; n (t) = 1000–80 = 920; N–n (t) = 1000– 920 = 80. Тому лам (1.1) і (1. 2) визначаємо

$$P(3000) = \frac{n(t)}{N} = \frac{920}{100} = 0{,}92;$$

$$q(3000) = \frac{N - n(t)}{N} = \frac{80}{1000} = 0{,}08;$$
$$q(3000) = 1 - P(3000) = 1 - 0{,}92 = 0{,}08.$$

Завдання 2.2. На випробування було поставлено 1000 однотипних ламп. За перші 3000 год.відмовило 80 ламп, а за інтервал часу 3000 – 4000 год. Відмовило ще 50 ламп. Потрібно визначити статистичну оцінку частоти та інтенсивності відмов електронних ламп в проміжку часу 3000 – 4000 год.

Рішення. В данному випадку N = 1000; t = 3000 год; At = 1000 годину; Ап (t) = 50; n (t) = 920.

За формулами (1.3) і (1.4) знаходимо

$$f(t) = f \cdot (3000) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} 1/\text{час};$$
$$\lambda(t) = \lambda \cdot (3000) = \frac{\Delta n(t)}{t \cdot n(t)} = \frac{100}{100 \cdot 200} = 5 \cdot 10^{-3} 1/\text{час};$$

Завдання 2.3. На випробування поставлено N = 400 виробі. За час t = 3000 год відмовило 200 виробів, тобто n (t) = 400–200 = 200. За інтервал часу (t, t + At), де At = 100 годину, відмовило 100 виробів, т. Е. А n (t) = 100. ПотрібновизначитиР (3000), Р(3100), Г(3000), Х(3000).

Рішення по формулі(1.1)

$$P(3000) = \frac{n(t)}{N} = \frac{200}{400} = 0{,}5$$
$$P(3100) = \frac{n(t)}{N} = \frac{100}{400} = 0{,}25$$

Використовуючи формули (2.3) і (2.4), отримаємо

$$f(t) = f(3000) = \frac{\Delta n(t)}{N\Delta t} = \frac{100}{400 \cdot 100} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} 1/\text{час}$$
$$\lambda(t) = \lambda(3000) = \frac{\Delta n(t)}{tn(t)} = \frac{100}{100 \cdot 200} = 5 \cdot 1/\text{час}$$

Завдання 2.4. На випробування поставлено 6 однотипних виробів. Отримані наступні значення t. (Т – час безвідмовної роботи і–говиробу): t_i = 280 годину; t_2 = 350час; t_3 = 400час; t_4 = 320час; t_5 = 380час; t_6 = 330час. Визначити статистичну оцінку середнього часу безвідмовної роботи вироби.

Рішення, за формулою (1,5) маємо

$$m_t = \frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N} t_i = \frac{280 + 350 + 400 + 320 + 380 + 330}{6} = \frac{2060}{6} = 343{,}3\text{час}.$$

Завдання 2.5. За спостережуванийперіодексплуатації і апаратурібулозафіксовано 7 відмов. Час відновленнясклало:

t_1 = 12хв; t_2 = 23мін; t_3 = 15хв; t_4 = 9мін; t_5 = 17мин; t_6 = 28мін; t_7 = 25хв; t_8 = 31 хв.

Потрібновизначитисередній час відновленняапаратури.

Рішення

$$m_t = \frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N} t_i = \frac{12 + 23 + 15 + 9 + 17 + 28 + 25 + 31}{8} = \frac{160}{8} = 20 \text{ хв.}$$

Завдання 2.6. В результаті спостереження за 45 зразками радіоелектронного устаткування отриманідані до першої відмови всіх 45 зразків, відомості в табл.1.1. Потрібно визначити mc.

Таблиця 2.1

Δt_i, час	n_i	Δt_i, час	n_i	Δt_i, час	n_i
0…5	1	30…35	4	60…65	3
5…10	5	35…40	3	65…70	3
10…15	8	40…45	0	70…75	3
15…20	2	45…50	1	75…80	1
20…25	5	50…55	0	–	–
25…30	6	55…60	0	–	–

Рішення. В данномувипадку

$t_{ср1}$=2,5; $t_{ср2}$=7,5; $t_{ср3}$=12,5; $t_{ср4}$=17,5; $t_{ср5}$=22,5; $t_{ср6}$=27,5; $t_{ср7}$=2,5; $t_{ср8}$=32,5; $t_{ср9}$=37,5; $t_{ср10}$=42,5; $t_{ср11}$=47,5; $t_{ср12}$=52,5; $t_{ср13}$=57,5; $t_{ср14}$=62,5; $t_{ср15}$=67,5; $t_{ср1}$6=72,5;N=45; m=16.

Використовуючи формулу (2.6), отримаємо

$$m_t = \frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N} t_i = \frac{\begin{matrix} 1 \cdot 25 + 5 \cdot 7{,}5 + 8 \cdot 12{,}5 + 2 \cdot 17{,}5 + 5 \cdot 22{,}5 + 6 \cdot 27{,}5 + 4 \cdot 32{,}5 + 3 \cdot 37{,}5 + 0 \cdot 42{,}5 + \\ +1 \cdot 47{,}5 + 0 \cdot 52{,}5 + 0 \cdot 57{,}5 + 3 \cdot 625 + 367{,}5 + 3 \cdot 72{,}5 + 1 \cdot 77{,}5 \end{matrix}}{45}$$

$$= \frac{1427{,}5}{45} = 31{,}7\text{час}$$

<u>Завдання для самостійногорішення</u>

Завдання 2.7. Навипробування поставлено 100 однотипнихвиробів. За 4000 год.відкачали 50 виробів За інтервал часу 4000 – 4100 год. Відмовилоще 20 виробів. Потрібновизначити f (t) і λ (t). При t = 4000 год.

Завдання 2.8. На випробування поставлено 100 однотипних виробів. За 4000 год відмовило 50 виробів. Потрібновизначитир (t) і q (t) при t = 4000час.

Завдання 2.9. Протягом 1000 год з 10 гіроскопіввідмовило 2. За інтервал часу 1000 – 1100 год.відмовивще один гіроскоп. Потрібновизначити f (t) і λ (t).при t = 1000 год.

Завдання 2.10. На випробування поставлено 1000 однотипнихелектронних ламп за перші 3000 год.відмовило 80 ламп. За інтервал часу 3000–4000 год.відмовилоще 50 ламп. Потрібновизначитир (t) і q (t) при t = 4000 год.

Завдання 2.11. На випробування поставлено 1000 Тип. За годину 1 = 1300 год. вийшло з ладу 288 шт. виробів. За наступнийінтервал часу 1300–1400 год. вийшло з ладу ще 13 виробів. Необхіднообчислитир (t) при t = 1300час. і t = 1400 год .; f (t) і λ (t) при t = 1300 год.

Завдання 2.12. На випробування поставлено 45 виробів. За час t = 60 год.вийшло з ладу 35 штук виробів. За наступнийінтервал часу 60–65 год. вийшло з ладу ще 3 вироби. Необхіднообчислитир(t) при t = 60час. і t = 65 год .; f (t) і λ (t) при t = 60 год.

Завдання 2.13. В результатіспостереження за 45 зразкамирадіоелектронногообладнанняякіпройшлипопередню 80–годинну приработку, отриманідані до першоївідмовивсіх 45 зразків, зведені в табл. 1.2. Необхідновизначитиmt

Δt_i, час	n_i	Δt_i, час	n_i	Δt_i, час	n_i
0…10	19	30…40	3	60…70	1
10…20	13	40…50	0	–	–
20…30	8	50…60	1	–	–

Завдання 2.15. За спостережуванийперіодексплуатації в апаратурібулозареєстровано 6 відмов. Час відновленнясклало: t_1=15хв.; t_2=20хв, t_3=10хв.; t_4=28хв.; t_5=22хв.; t_6=30хв.Потрібновизначитисередній час відновленняапаратуриmn.

Завдання 2.16. На випробування поставлено 1000 Тип. За час t = 1 1000 год. вийшло з ладу 410 виробів. Зв наступнийінтервал часу 11000–12000 годину. вийшло з ладу ще 40 виробів. Необхіднообчислити p (t) при t = 1 1000 год. і t = 12000 годину., а також f (t) і λ (t) при t = 11000 годину.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТІЕ №3

Послідовне з'єднання елементів в систему

Теоретичні відомості

З'єднання елементів називається послідовним, якщо відмова хоча б одного елемента призводить до відмови всієї системи. Система послідовно з'єднаних елементів працездатна тоді, коли працездатні всі її елементи.

Час безвідмовної роботи системи за час t визначається формулою

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \ldots P_n(t) = \Pi_{i=1}^{n} P_i(t) \tag{3.1}$$

де $P_1(t)$ − ймовірність безвідмовної роботи i–го елемента за час t.

Якщо то,$P_1(t) = P^n(t)$

$$P_c(t) = P^n(t) \tag{3.2}$$

Висловимо $P_c(t)$ через інтенсивність відмов $\lambda_i(t)$ елементів системи.

Маємо:

$$P_c(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^{n}\int_0^1 \lambda_i(t)dt\right) \tag{3.3}$$

або

$$P_c(t) = \exp\left(-\int_0^1 \lambda_c(t)dt\right) \tag{3.4}$$

де

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(t) \tag{3.5}$$

Тут $\lambda_i(t)$ − інтенсивність відмов i–го елемента; $\lambda_c(t)$ − інтенсивність відмов системи. Імовірність відмови системи на інтервалі часу (0, t) дорівнює

$$q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \lambda_i(t) \qquad (3.6)$$

Частота відмов системи визначається співвідношенням$f_c(t)$

$$f_c(t) = -\frac{dP_C(t)}{dt} \qquad (3.7)$$

Інтенсивність відмов системи

$$f_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} \qquad (3.8)$$

Середній час безвідмовної роботи системи:

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t)dt \qquad (3.9)$$

Уразі експоненціального закону надійності всіх елементів системи маємо

$$\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}; \qquad (3.10)$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_c; \qquad (3.11)$$

$$P_i(t) = \exp(-\lambda t); \qquad (3.12)$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda ct}; \qquad (3.13)$$

$$f_c(t) = \lambda_c \cdot e^{-\lambda ct} \qquad (3.14)$$

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda ct}; \qquad (3.15)$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}; \qquad (3.16)$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_i}, \qquad (3.17)$$

де m_{ti} – середній час безвідмовної роботи i–го елемента.

При розрахунку надійності систем часто доводиться перемножити ймовірності безвідмовної роботи окремих елементів розрахунку, зводити їх до рівня і витягувати коріння. При значеннях P (t), близьких до одиниці, ці обчислення можна з достатньою для практики точністю виконувати за наступними наближеним формулами:

$$\begin{cases} P_1(t)P_2(t)\ldots P_n(t) \sim 1-\sum\limits_{i=1}^{n} q_i(t) \\ P_I^n(t)=1-N_{qi}(t), \\ \sqrt[n]{P_I(t)}=1-q_i(t)/n\,, \end{cases} \tag{3.18}$$

де $q_i(t)$ − ймовірність відмови i–го елемента.

<u>Рішення типових задач</u>

Завдання 3.1.Сістема складається з трьох пристроїв. Інтенсивність відмов електронного пристрою дорівнює $\lambda_1=0{,}16\cdot10^{-3}$ 1 / год = const. Інтенсивності відмов двох електромеханічних пристроїв лінійно залежать від часу і визначаються наступними формулами

$$\lambda_2=0{,}23\cdot10^{-4}t\,1/\text{час}\,,\lambda_3=0{,}06\cdot10^{-6}t^{2,6}1\ /\ \text{час}$$

Необхідно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом 100 год.

Рішення. На підставі формули (3.3) маємо

$$P_c(t)=\exp\left(-\sum_{i=1}^{n}\int_0^1\lambda_i(t)dt\right)=\exp\left\{-\left[\int_0^1\lambda_1 dt+\int_0^1\lambda_2 dt+\int_0^1\lambda_3 dt\right]\right\}=$$
$$==\exp\left[-\left(\lambda_1 t+0{,}23\cdot10^{-4}\cdot\frac{t^2}{2}+0{,}06\cdot10^{-6}\cdot\frac{t^{3,6}}{3{,}6}\right)\right].$$

Для t = 100 год.

$$P_c(100)=\exp\left[-\left(0{,}16\cdot10^{-3}\cdot100+0{,}23\cdot10^{-4}\cdot\frac{100^2}{2}+0{,}06\cdot10^{-6}\cdot\frac{100^{3,6}}{3{,}6}\right)\right]\sim0{,}33$$

Завдання 3.2. Система складається з трьох блоків, середній час безвідмовної роботи яких дорівнює: $m_{t1}=160$ час, $m_{t2}=320$ час , $m_{t3}=600$ час. Для блоків справедливий експоненціальний закон надійності. Потрібно визначити середнє безвідмовної роботи системи.

Рішення. Скориставшись формулою (3.17) отримаємо

$$\lambda_1 = \frac{1}{m_1} = \frac{1}{160}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{m_2} = \frac{1}{320}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{m_3} = \frac{1}{600}$$

Тут λ_i — інтенсівность відмов і–го блоку. На підставі формули (3.11) маємо

$$\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \frac{1}{160} + \frac{1}{320} + \frac{1}{600} = 0{,}011\ 1/\text{час}.$$

Тут λ_c — інтенсивність відмов всієї системи.

На підставі формули (3.16) отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0{,}011} \sim 91\ \text{час}.$$

Завдання 3.3. Система складається з 12600 елементів, середня інтенсивність відмов яких $X_{cp} = 0{,}32 \cdot 10^{-6}$ 1 / год. Потрібно визначити $P_c(t), q_c(t), f_c(t), m_{tc},$ для t = 50 год.

Тут $P_c(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t;

$q_c(t)$ —ймовірність відмови системи протягом часу t;

$f_c(t)$ —частота відмов або щільність ймовірності часу t безвідмовної роботи системи;

m_{tc} —середній час безвідмовної роботи системи.

Рішення. Інтенсивність відмов системи за формулою (3.11) буде

$$\lambda_c = \lambda_{cp} \cdot n = 0{,}32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4{,}032 \cdot 10^{-3}\ 1/\text{час}$$

З (3.13) маємо

$$P_c(t) = e^{-\lambda ct}$$
$$P_c(50) = e^{-4{,}032 \cdot 0{,}001 \cdot 50} \sim 0{,}82.$$

З (3.15) отримаємо

$$q_c(t) = e^{-\lambda ct} = \lambda_c P_c(t), q_c(50) = 1 - P_c(50) \sim 0{,}18.$$

З (3.14) маємо

$$f_c(t) = e^{-\lambda ct} = \lambda_c P_c(t), f_c(50) = 4{,}032 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}82 = 3{,}28 \cdot 10^{-3}\ 1\ /\ \text{час.}$$

З (3.16) отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{4{,}032 \cdot 10^{-3}} \sim 250\ \text{час}$$

Завдання 3.4. Система складається з двох пристроїв. Ймовірності безвідмовної роботи кожного з них протягом t = 100 год рівні: $P_1(100) = 0{,}95$; $P_2(100) = 0{,}97$. Справедливий експонентний закон надійності. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи.

Рішення. Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи вироби.

$$P_c(100) = P_1(100) \cdot P_2(100) = 0{,}95 \cdot 0{,}97 = 0{,}92.$$

Знайдемо інтенсивність відмов вироби, скориставшись формулою

$$P_c(t) = e^{-\lambda ct}$$

або

$$P_c(100) = 0{,}92 = e^{-\lambda c \cdot 100}$$

Потаблиці П.7.14 маємо

$$\lambda_c \cdot 100 = 0{,}083\ \text{или}\ \lambda_c = 0{,}83 \cdot 10^{-3}\ 1/\text{час}$$

тоді

$$m_{tc} = 1/\lambda_c = 1/(0{,}83 \cdot 10^{-3}) = 1200\ \text{час.}$$

Завдання 3.5. Імовірність безвідмовної роботи одного елемента протягом часу t дорівнює P (t) = 0,9997. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи, що складається з n = 100 таких же елементів.

Рішення. Імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює $P_c(t) = P^n(t) = (0{,}9997)^{100}$. Ймовірність $P_c(t)$ близька до одиниці, тому для її обчислення скористаємося формулою (3.18) .В нашому випадку q (t) = 1–P (t) = 1–0,9997 = 0,0003.Тогда $P_c(t) \sim 1 - q(t) = 1 - 100 \cdot 0{,}0003 = 0{,}97.$

Завдання 3.6 Імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t дорівнює $P_c(t) = 0{,}95.$ Система складається з n = 120 равнонадежнних елементів. Необхідно знайти ймовірність безвідмовної роботи елемента.

Рішення. Очевидно, що ймовірність безвідмовної роботи елемента буде

$$P_i(t) = \sqrt[n]{P_c(t)} \sim 1 - \frac{q_c(t)}{n} = 1 - \frac{0{,}05}{120} = 0{,}9996$$

Завдання 3.7.Сістемаскладаєтьсяз 12600 елементів, середняінтенсивністьвідмовяких$\lambda_{cp} = 0{,}32 \cdot 10^{-6} \frac{1}{час}$.Необхідновизначитиймовірністьбезвідмовноїроботипротягом t = 50 год.

$$\lambda_{cp}(t) = \lambda_{cp} \cdot n = 0{,}32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4{,}032 \cdot 10^{-3} \frac{1}{час}.$$

Тоді на підставі (3.13)

$$P_c(t) = e^{-\lambda ct}$$
$$P_c(50) = e^{-4{,}032 \cdot 0{,}001 \cdot 50} \sim 0{,}82.$$

Завдання для самостійного рішення

Завдання 3.8. Апаратура зв'язку складається з 2000 року елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0{,}33 \cdot 10^{-5}$ 1 / год. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи апаратури протягом t = 200 год і середній час безвідмовної роботи апаратури.

Завдання 3.9. Невідновлюваних в процесі роботи електронна машина складається з 200000 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0{,}2 \cdot 10^{-6}$ 1 / год. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної машини протягом t = 24 години і середній час безвідмовної роботи електронної машини.

Завдання 3.10. Система управління складається з 6000 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0{,}16 \cdot 10^{-6}$ 1 / год. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи апаратури протягом t = 50 год і середній час безвідмовної роботи.

Завдання 3.11. Прилад складається з n = 5 вузлів. Надійність вузлів характеризується ймовірністю безвідмовної роботи протягом t, яка дорівнює: $P_1(t) = 0{,}98;$ $P_2(t) = 0{,}99;$ $P_3(t) = 0{,}998;$ $P_4(t) = 0{,}975;$ $P_5(t) = 0{,}985;$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи приладу.

Завдання 3.12 Система складається з п'яти приладів, середня час безвідмовної роботи яких дорівнює: $t_1 = 83$ час; $t_2 = 220$ час $t_3 = 280$час $t_4 = 400$ час $t_5 = 700$ час. Потрібно знайти середній час безвідмовної роботи системи.

Завдання 3.13. . Прилад складається з п'яти приладів. Ймовірністю безвідмовної роботи кожного блоку протягом t = 50 год дорівнює: $P_1(50) = 0{,}98$; $P_2(50) = 0{,}99$;; $P_3(50) = 0{,}998$; $P_4(50) = 0{,}975$; $P_5(50) = 0{,}985$. Справедливий експонентний закон надійності. Потрібно знайти середній час безвідмовної роботи приладу.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ №4

Розрахунок надійності системи з постійним резервуванням

Теоретичні відомості

При постійному резервуванні резервні елементи 1,2, з’єднані паралельно з основним (робочим) елементом на протязі всього періоду роботи системи. Всі елементі з’єднані постійно, перестройка схеми при відмовах не відбувається, відмовивший елемент не відключається.

Вірогідність відмови системи qc(t) знаходиться за формулою:

$$q_c = \prod_{j=0}^{m} q_j(t), \tag{4.1}$$

де $q_c(t)$–вірогідність відмови j – го елементу.

Вірогідність безвідмовної роботи системи:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=0}^{m} \left[1 - P_j(t)\right], \tag{4.2}$$

де $P_j(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи j – го елементу.

Якщо $P_j(t) = P(t), j = 0.1, \dots, m$, то

$$\begin{cases} q_c(t) = q^{m+1}(t); \\ P_c(t) = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}; \end{cases} \tag{4.3}$$

При експонентному законі надійності окремих елементів маємо:

$$\begin{cases} P_j(t) = P(t) = e^{-\lambda}; \\ q_c(t) = (1 - e^{-\lambda})^{n+2}; \\ P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda})^{n+1}; \\ m_k = \dfrac{1}{\lambda} \sum\limits_{i=0}^{n} \dfrac{1}{1+i}; \end{cases} \tag{4.4}$$

Резервування називається загальним, якщо резервуються вся система, що складається з послідовно з’єднаних nелементів. Схема загального резервування представлена на малюнку 4.2. Основний ланцюг містить nелементів. Число резервних ланцюгів дорівнює m, тобто кратність резервування дорівнює m.

Знайдемо кількісні характеристики надійності системи з загальнім резервуванням (резервні ланцюги ввімкнені постійно)

Запишемо вірогідність безвідмовної роботи j – го ланцюга

$$P_j(t) = \prod_{j=1}^{n} P_{ij}(t); j = 0.1, \dots, m; \tag{4.5}$$

де $P_{ij}(t); j = 0.1, \dots, m; i = 1,2,3, \dots, n$ – вірогідність безвідмовної роботи елемента $Э_j$.

Вірогідність відмови j – го ланцюга

$$q_c = 1 - \prod_{i=0}^{n} P_{ij}(t) \tag{4.6}$$

Вірогідність відмови системи з загальним резервуванням

$$q_c = \prod_{j=0}^{m} \left[1 - \prod_{i=1}^{n} P_{ij}(t)\right]; \tag{4.7}$$

Вірогідність безвідмовної роботи системи з загальним резервуванням

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=0}^{m} \left[1 - \prod_{j=1}^{n} P_{ij}(t)\right]; \tag{4.8}$$

Окремий випадок: основний та резервний ланцюги мають однакову надійність, тобто

$$P_{ij}(t) = P_i(t); \tag{4.9}$$

Тоді

$$q_c = \left[1 - \prod_{i=1}^{n} P_i(t)\right]^{m+1}; \tag{4.10}$$

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^{n} P_i(t)\right]^{m+1}; \tag{4.11}$$

Розглянемо експонентний закон надійності, тобто

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}; \tag{4.12}$$

В цьому випадку формули (5.10) и (5.11) приймуть вигляд

$$q_c(t) = \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}; \tag{4.13}$$

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}; \tag{4.14}$$

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i\,; \tag{4.15}$$

де λ_0– інтенсивність відмов ланцюга, що складеться з n елементів.

Частота відмов системи з загальним резервуванням

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = \lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m}; \tag{4.16}$$

Інтенсивність відмов системи з загальним резервуванням

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{p_c(t)} = \frac{\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m}}{1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}; \tag{4.17}$$

Середній час роботи резервованої системи

$$m_{tc} = T_0 \sum_{j=0}^{m} \frac{1}{1+j}; \tag{4.18}$$

$T_0 = {}^{1}/_{\lambda_0}$,–середній час безвідмовної роботи незарезервованої системи.

<u>Рішення типових задач</u>

Задача 4.1. Система складається з 10 рівно надійних компонентів, середній час безвідмовної роботи елементу m_t= 1000 год. Передбачається, що дійсній експонентний закон для елементів системи та основна і резервна системи рівноважні. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи m_{tc}, а також частоту відмов $f_c(t)$ і частоту відмов $\lambda_c(t)$в момент часу t=50 год. В наступних випадках:

а) незарезервованої системи

б) при дублюванні системи з постійно ввімкненому резерві

Рішення

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

де, λ_c – інтенсивність відмов системи; λ_i – інтенсивність відмови i – го елементу; n=10.

$$\lambda_i = \frac{1}{m_{ti}} = \frac{1}{1000} = 0.001; i = 1.2, \dots, n; \lambda = \lambda_i;$$

$$\lambda_c = \lambda_n = 0.001 \cdot 10 = 0.01 \frac{1}{\text{год.}};$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = 100 \text{ год};$$

$$f_c(t) = \lambda_c(t) P_c(t)$$

$$\lambda_c(50) = \lambda_c; \text{Pi}(t) = e^{-\lambda_c t};$$

$$\lambda_c(50) = \lambda_c e^{-\lambda_c t} = 0.01 \cdot e^{-0.01 \cdot 50} \approx 6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}};$$

$$\lambda_c(50) = 0.01 \frac{1}{\text{год}}.$$

б) $m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{j=0}^{m} \frac{1}{1+j}$; $m = 1$; $m_{tc} = \frac{1}{0.01}\left(1 + \frac{1}{2}\right) = 150 \text{ год.};$

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}; \qquad \lambda_0 = \lambda_c = 0.01 \frac{1}{\text{год}};$$

$$p_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_c t}\right)^2 = 2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t}$$

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = 2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right);$$

$$f_c(50) \approx 4.8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}; \quad \lambda_c(50) \approx 5.7 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}.$$

Задача 4.2. В системі телеуправління застосовано дублювання каналу управління. Інтенсивність відмови каналу $\lambda = 10^{-2} \frac{1}{\text{год}}$. Розрахувати вірогідність безвідмовної роботи системи $P_c(t)$ при t=10 год., середній час безвідмовної роботи m_{tc}, частоту відмов $f_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_c(50)$ системи.

Рішення. В даному випадку $n = 1$; $\lambda_i = \lambda$; $\lambda_0 = n\lambda$; $m = 1$.Згідно формули (4.14) маємо

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^2;$$

$$P_c(50) = 1 - (1 - e^{-0.1})^2;$$

З додатку П.7.14 [1] маємо

$$e^{-0.1} = 0.9048.$$

Тоді

$$P_c(10) = 1 - (1 - 0.9048)^2 = 1 - 0.0952^2 \approx 1 - 0.01 = 0.99$$

Знайдемо m_{tc}. З формули (4.4) маємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda}\sum_{i=0}^{1}\frac{1}{1+i} = \frac{1}{\lambda}\left(1 + \frac{1}{2}\right) = 150 \text{ год.}$$

Знайдемо частоту відмов $f_c(t)$. Отримаєм

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = 2\lambda e^{-\lambda t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda t}\right)$$

Знайшовши інтенсивність відмов, маємо $\lambda_c(t)$. Маємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{2\lambda e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})}{e^{-\lambda t}(2 - e^{-\lambda t})} = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}}.$$

Задача 4.3 Незарезервована система складається з n=5000 елементів. Для підвищення надійності системи передбачається провести загальне дублювання елементів. Щоб приблизно оцінити можливість досягнення заданої вірогідності безвідмовної роботи системи $P_c(t) = 0.9$ при t = 10 год., необхідно розрахувати середню вірогідність відмов одного експерименту при допущенні відсутності наслідків відмови.

Рішення. Вірогідність безвідмовної роботи системи при загальному дублюванні та рівно надійних елементах дорівнює

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2$$

або

$$P_c(t) = 1 - [1 - p^n(t)]^2$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda r}$$

Тут $P_c(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи одного елементу.

Так, як повинно бути

$$1 - [1 - p^n(t)]^2 \geq 0.9,$$

то

$$p(t) \geq \left(1 - \sqrt{0.1}\right)^{\frac{1}{n}}.$$

Розклавши $\left(1 - \sqrt{0.1}\right)^{\frac{1}{n}}$ по ступені $1/_n$ в ряд, нехтуючи членами рядка вищого порядку малості, отримаємо

$$\left(1 - \sqrt{0.1}\right)^{\frac{1}{5000}} \approx 1 - \frac{1}{5000}\sqrt{0.1} = 1 - 6.32 \cdot 10^{-5}$$

Враховуючи, що $P(t) = \exp(-\lambda t) \approx 1 - \lambda t$,отримаємо

$$1 - \lambda t \geq 1 - 6.32 \cdot 10^{-5}$$

або

$$\lambda \leq \frac{6.32 \cdot 10^{-5}}{t} = \frac{6.32 \cdot 10^{-5}}{10} = 6.32 \cdot \frac{10^{-6}1}{год}.$$

<u>Задачі для самостійного рішення.</u>

Задача 4.4.Приймач складається з трьох блоків: УВЧ, УПЧ, УНЧ. Інтенсивність відмов блоків відповідно дорівнює: $\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-4}\,\frac{1}{год}; \lambda_2 = 2.5 \cdot 10^{-4}\,\frac{1}{год}; \lambda_3 = 3 \cdot 10^{-4}\,\frac{1}{год}$. Необхідно розрахувати вірогідність безвідмовної роботи приймача при t=100 год. Для наступних випадків:

а) резерв відсутній, б) є загальне дублювання приймача в цілому.

Задача 4.5Для зображення на малюнку 4.3 логічної схеми системи знайти $P_c(t)$.

Задача 4.6. В радіопередачі, котрий складеться з трьох рівно надійних каскадів (n=3) застосовано загальне постійне дублювання всього радіопередавача. Інтенсивність відмов каскаду дорівнює $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}\,\frac{1}{год}$. Знайти $P_c(t)$,m_{tc},$f_c(t)$, $\lambda_c(t)$ радіопередавача с дублюванням.

Задача 4.7.Для малюнку 4.4 логічної схеми системи знайти інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$.Тут резерв навантажений, відмови не залежні одна від одної.

Задача 4.8. Радіоелектронна апаратура складається з трьох блоків 1,2,3. Вірогідність відмові цих блоків відповідно дорівнює $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи апаратури $P_c(t)$ для наступних випадків:

а) резерв відсутній;

б) є дублювання радіоелектронної апаратури в загалом.

Задача 4.9. Схема розрахунку надійності виробу показана на малюнку 4.5.Передбачається, що э справедливим експонентний закон надійності для елементів виробу. Інтенсивність відмов елементу дорівнюють $\lambda_1 = 0.3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_2 = 0.7 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи виробу протягом t = 100 год., середній час безвідмовної роботи виробу, частоту та інтенсивність відмов в момент часу t = 100 год.

Задача 4.10. В телевізійному каналі зв'язку, що складається з передатчика та приймача, застосоване загальне дублювання. Передатчик та приймач мають інтенсивність відмов $\lambda_n = 2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_{np} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$,відповідно. Схема каналу представлена на малюнку 4.6. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи каналу $P_c(t)$, середній час безвідмовної роботи m_{tc}, частоту відмов $f_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$.

Задача 4.11. Схема розрахунку надійності приладу приведена на малюнку 4.7. Передбачається, що э справедливим експонентний закон надійності для елементів виробу. Необхідно знайти інтенсивність відмов приладу, якщо інтенсивність відмов елементу дорівнюють λ_1, λ_2.

Задача 4.12.Незарезервована система управління складається з n = 4000 елементів. Відома необхідна вірогідність безвідмовної роботи системи $P_c(t) = 0.9$, при t = 100. Необхідно знайти допустиму середню інтенсивність відмови одного елементу, вважати елементи рівно надійними, для того щоб приблизно оцінити можливість досягнення заданої вірогідності безвідмовної роботи при відсутності профілактичних оглядів в наступних випадках:

а) резервування відсутнє;

б) є загальне дублювання;

Задача 4.13. Прилад обробки складається з 3 однакових блоків. Вірогідність безвідмовної роботи приладу $P_y(t_i)$ на протязі (0, t_i) повинна бути не менше 0.9. Знайти якою повинна бути безвідмовна робота кожного блоку на протязі (0, t_i) для випадків:

а) резервування відсутнє;

б) є пасивне загальне резервування з незмінним навантаженням всього виробу в загалі;

в) мається пасивне роздільне резервування з незмінним навантаженням блоків.

Задача 4.14. Обчислювач складається з двох блоків, з'єднаних послідовно, що характеризується відповідно інтенсивністю відмов $\lambda_1 = 120.54 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_2 = 185.66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$. Застосовано пасивне загальне резервування з незміннім навантаженням всій системи (блока 1 та 2) (див. малюнок. 4.8). Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи $P_c(t)$ обчислювача, середній час безвідмовної роботи m_{tc}, частоту відмов $f_c(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ обчислювача. Знайти $P_c(t)$ при t = 20 год.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Резервування заміщенням в режимі полегшеного (теплого) резерву і в режимі ненавантаженого (холодного) резерву

Теоретичні відомості

В цьому випадку резервні елементи знаходяться в полегшеному режимі до моменту їх включення в роботу. Надійність резервного елемента в цьому випадку вище надійності основного елемента, так як резервні елементи знаходяться в режимі недовантаження до моменту їх включення в роботу.

Імовірність відмови резервованої системи з полегшеним резервуванням визначається співвідношенням

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda_0(t)}\left[1 + \sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{i!}(1 - e^{-\lambda_1(t)})^i\right], \tag{5.1}$$

де

$$a_i = \prod_{j=0}^{i-1}\left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right), \tag{5.2}$$

Тут λ_1 – інтенсивність відмови резервного елемента в режимі недовантаження до моменту включення його в роботу;

λ_0 – інтенсивність відмови резервного елемента в стані роботи;

m – кратність резервування або кількість резервних елементів.

Імовірність безвідмовної роботи системи з полегшеним резервуванням визначається формулою

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_0(t)}\left[1 + \sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{i!}(1 - e^{-\lambda_1(t)})^i\right] \tag{5.3}$$

Визначимо середній час безвідмовної роботи з полегшеним резервуванням. маємо

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t)dt = \frac{1}{\lambda_0}\sum_{i=0}^{m} \frac{1}{1 + iK}, \tag{5.4}$$

де

$$K = \frac{\lambda_1}{\lambda_0}. \tag{5.5}$$

Визначимо частоту відмов$f_c(t)$ системи з полегшеним резервуванням. Маємо

$$f_c(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0(t)} \left[1 + \sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i - \frac{\lambda_1}{\lambda_0} e^{-\lambda_1(t)} \sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{(i-1)!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^{i-1}\right] \tag{5.6}$$

Визначимо інтенсивність відмов$\lambda_c(t)$ системи з полегшеним резервуванням. отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \lambda_0 \left[1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_0} e^{-\lambda_1(t)} \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{(i-1)!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^{i-1}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i}\right] \tag{5.7}$$

При $\lambda_1 = 0$маємо режим недовантажених (холодного) резерву. Імовірність відмови резервованої системи з недовантаженим резервуванням визначається співвідношенням

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda_1(t)} \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} \tag{5.8}$$

Імовірність безвідмовної роботи системи з недовантаженим резервом визначається за формулою

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} \tag{5.9}$$

Визначимо середній час безвідмовної роботи системи з ненавантаженим резервом.маємо

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \frac{m+1}{\lambda_0} \tag{5.10}$$

Визначимо частоту відмов $f_c(t)$системи з ненавантаженим резервом.маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = \frac{{\lambda_0}^{m+1}}{m!} t^m e^{-\lambda_0(t)} \tag{5.11}$$

Визначимо інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$системи з ненавантаженим резервом.отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{{\lambda_0}^{m+1} t^m}{m! \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} \tag{5.12}$$

Завдання 5.1. Система складається з 10 равнонадежних елементів, середній час безвідмовної роботи елемента $m_t = 1000$ годин. Передбачається, що справедливий експонентний закон надійності для елементів системи і основна і резервна системи равнонадежни. Необхідно знайти ймовірність роботи системи $P_c(t)$. Середній час безвідмовної роботи системи m_{tc}, а також частоту $f_c(t)$ відмов і інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ в момент часу $t = 50$ годин в наступних випадках:

а) нерезервованої системи;

б) дубльованої системи при включенні резерву за способом заміщення (ненавантажений резерв).

Рішення.

а) $\lambda_c = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$

де λ_c– інтенсивність відмов системи, λ_i – інтенсивність відмов i–го елемента; .$n = 10$.

$$\lambda_i = \frac{1}{m_{tc}} = \frac{1}{1000} = 0{,}001; i = \overline{1, n};\ \lambda = \lambda_i;$$

$$\lambda_c = \lambda_n = 0{,}001 \cdot 10 = 0{,}01\ 1/\text{час};$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = 100\ \text{час};\ P_c(t) = e^{-\lambda_0 t};$$

$$f_c(t) = \lambda_c(t) \cdot P_c(t);\ \lambda_c(50) = \lambda_c;$$

$$f_c(50) = 0{,}01\ 1/\text{час}.$$

б) $m_{tc} = \frac{m+1}{\lambda_c}; m = 1;$

$$m_{tc} = \frac{2}{0{,}01} = 200\ \text{час}.$$

Визначаємо $P_c(t)$ за формулою

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0(t)}\big(1 + \lambda_0(t)\big);$$

Так як $\lambda_0 = \lambda_c$, то

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c(t)}\big(1 + \lambda_0(t)\big).$$

Визначаємо $f_c(t)$. Маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = -\big[-\lambda_c{}^{-\lambda_c(t)}(1 + -\lambda_c(t) + \lambda_c{}^{-\lambda_c(t)}\big] = \lambda^2{}_c t e^{-\lambda_c(t)}.$$

Визначаємо$\lambda_c(t)$. Отримуємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda^2{}_c t^m e^{-\lambda_c(t)}}{e^{-\lambda_c(t)}(1+\lambda_c(t))} = \frac{\lambda^2{}_c t}{1+\lambda_c(t)}.$$

Визначаємо$P_c(50), f_c(50), \lambda_c(50)$, маємо

$$P_c(50) = e^{-0{,}01\cdot 50}(1+0{,}01\cdot 50) = e^{-0{,}5}\cdot 1{,}5 = 0{,}6065\cdot 1{,}5 \approx 0{,}91;$$
$$f_c(50) = 0{,}01^2\cdot 50\cdot e^{-0{,}01\cdot 50} = 0{,}01\cdot 0{,}5\cdot e^{0{,}5} \approx 3\cdot 10^{-3}\ 1/\text{час};$$
$$\lambda_c(50) = \frac{f_c(50)}{P_c(50)} = \frac{3\cdot 10^{-3}}{0{,}91} \approx 3{,}3\cdot 10^{-3}\ 1/\text{час}.$$

Завдання 5.2. Радіопередавач має інтенсивність відмов$\lambda_0 = 0{,}4\cdot 10^{-3}$ 1 / год. Його дублює такий же передавач, що знаходиться до відмови основного передавача в режимі очікування (в режимі полегшеного резерву). В цьому режимі інтенсивність відмов передавача $\lambda_1 = 0{,}06\cdot 10^{-3}$ 1 / год. Потрібно обчислити вірогідність безвідмовної роботи передавальної системи протягом часу$t = 100$ годин, а також середній час безвідмовної роботиm_{tc}, частоту відмов$f_c(t)$ і інтенсивність відмов$\lambda_c(t)$.

Рішення. В даному випадку кратність резервування $m = 1$. Використовуючи формулу (5.3), отримаємо

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_c(t)}\left[1 + \sum_{i=1}^{m}\frac{a_i}{i!}\left(1 - e^{-\lambda_1(t)}\right)^i\right];$$
$$a_i = \prod_{j=0}^{i-1}\left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right);\ a_1 = \prod_{j=0}^{0}\left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right) = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}.$$

тоді

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c(t)}\left[1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(t)}\right] \qquad (5.13)$$

З (5.13) маємо

$$P_c(100) = e^{-0{,}4\cdot 10^{-3}\cdot 100}\left[1 + \frac{0{,}4\cdot 10^{-3}}{0{,}06\cdot 10^{-3}} - \frac{0{,}4\cdot 10^{-3}}{0{,}06\cdot 10^{-3}}e^{-0{,}06\cdot 10^{-3}\cdot 100}\right] =$$
$$= e^{-0{,}04}\left[1 + \frac{40}{6} - \frac{40}{6}e^{-0{,}006}\right] \approx 0{,}96[1 + 6{,}67 - 6{,}67(1 - 0{,}006)] \approx 0{,}998.$$

Визначимоm_{tc} по формулі (5.4).отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_0}\sum_{i=0}^{1}\frac{1}{1 + i\frac{\lambda_1}{\lambda_0}} = \frac{1}{\lambda_0}\left(1 + \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}\right) = \frac{1}{\lambda_0}\left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1 + \lambda_0}\right) =$$

$$= \frac{1}{0{,}4 \cdot 10^{-3}}\left(1 + \frac{0{,}4 \cdot 10^{-3}}{0{,}46 \cdot 10^{-3}}\right) = 4668 \text{ час.}$$

Визначимо$f_c(t)$. Маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = -\left[-\lambda_0 e^{-\lambda_1(t)}\left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(t)}\right) + e^{-\lambda_0(t)}\lambda_0 e^{-\lambda_0(t)}\right] =$$

$$= -\lambda_0 e^{-\lambda_1(t)} - \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(t)} - e^{-\lambda_1(t)}\right) = \lambda_0\frac{\lambda_1 + \lambda_0}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(t)}\left(1 - e^{-\lambda_1(t)}\right).$$

Припишемо (5.13) у вигляді

$$P_c(t) = \frac{\lambda_1 + \lambda_0}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(t)}\left[1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1 + \lambda_0}e^{-\lambda_1(t)}\right].$$

Визначимо$\lambda_c(t)$. Отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda_0\left(1 - e^{-\lambda_1(t)}\right)}{1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1+\lambda_0}e^{-\lambda_1(t)}}.$$

Завдання 5.3. Імовірністьбезвідмовноїроботиперетворювачапостійногострумувзміннийпротягомчасу $t = 1000$ годин.дорівнює 0,95, тобто $P(1000) = 0{,}95$. Для підвищення надійності системи електропостачання на об'єкті є такий же перетворювач, який включається в роботу при відмові першого (режим ненавантаженого резерву). Потрібно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи, що складаються з двох перетворювачів, а також визначити частоту відмов$f_c(t)$ і інтенсивність відмов$\lambda_c(t)$ системи.

Рішення. В даному випадку кратність резервування $m = 1$. Використовуючи формулу (5.9), отримаємо

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0(t)}\sum_{i=0}^{m}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0(t)}(1+\lambda_0(t)) \tag{5.14}$$

Так як для окремого перетворювача має місце експонентний закон надійності, то

$$P(t) = e^{-\lambda i t}$$

Де $P(t)$ ймовірність безвідмовної роботи перетворювача; λ_o – інтенсивність відмов перетворювача в стані роботи.

З (5.15) маємо

$$P(1000) = e^{-\lambda_o \cdot 1000} = 0{,}95.$$

З додатку П. 7.14 [1] отримаємо

$$\lambda_0 \cdot 1000 = 0{,}051.$$

звідки

$$\lambda_0 = \frac{0{,}051}{1000} = 0{,}5 \cdot 10^{-4} \quad 1/\text{год.}$$

Тоді з (5.14),маємо

$$P_C(1000) = 0{,}95(1 + 0{,}05) = 0{,}9975.$$

Визначимо m_{tc}по формулі (5.10) .Одержимо

$$m_{tc} = \frac{m+1}{\lambda_0} = \frac{2}{\lambda_0} = \frac{2}{0{,}5 \cdot 10^{-4}} = 40000 \text{ год.}$$

Відзначимо, що середній час безвідмовної роботи нерезервованої перетворювача дорівнює

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_0} = 20000 \text{ год.}$$

Визначимо частоту відмов$f_c(t)$ за формулою (5.11). Маємо

$$f_c(t) = \frac{\lambda_0^2}{1!}\ t\, e^{-\lambda 0(t)}$$

Визначимо$\lambda_{c(t).}$. Отримаємо

$$\lambda_{c(t).} = \frac{f_c(t)}{p_c(t)} = \frac{\lambda_0^2\ t\, e^{-\lambda 0(t)}}{e^{-\lambda 0(t)}(1+\lambda_0(t))} = \frac{\lambda_0^2\ t}{1+\lambda_0(t)}$$

Завдання для самостійного рішення.

Завдання 5.4. Система складається з двох однакових елементів. Для підвищення її надійності конструктор запропонував дублювання системи за способом заміщення з ненаружнимі станом резерву (рис.5.1) Інтенсивність відмов елемента дорівнює λ. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи$p_c(t)$, інтенсивність відмов$\lambda_{c(t).}$

Завдання 5.5. Схема розрахунку надійності вироби приведена на ріс.5.2.Необходімо визначити ймовірність безвідмовної роботи$p_c(t)$, частоту відмов$f_c(t)$, інтенсивність відмов$\lambda_{c(t)}$ ізделія. Знайти $\lambda_{c(t)}$ при t = 0.

Завдання 5.6. Схема розрахунку надійності системи наведена на рис.5.3., Де А, Б, В, Г блоки системи. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи.$p_c(t)$

Завдання 5.7.Схема розрахунку надійності системи наведена на ріс.5.4.Определіть ймовірність безвідмовної роботи$p_c(t)$ системи.

Завдання 5.8.Передающее пристрій складається з одного працюючого передавача ($\lambda = 8 \cdot 10^{-3}$ 1/час) і одного передавача в полегшеному резерві ($\lambda_0 = 8 \cdot 10^{-4}$ 1 / год.). Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи пристрою $p_c(t)$, середній час безвідмовної роботи пристрою m_{tc}. Визначити$p_c(t)$ при t = 20 год.

Завдання 5.9. В радіопередавальному каналі зв'язкової системи використовуються основний передавач Π_1, два передавачі Π_2 і Π_3 знаходяться в ненавантаженому резерві. Інтенсивність відмов основного працюючого передавача дорівнює $\lambda_0 = 10^{-3}$ 1/час. З моменту відмови передавача Π_1 в роботу включається Π_2, після відмови передавача Π_2 включається Π_3 .При включенні резервного передавача в роботу його інтенсивність відмов стає рівній λ_0. Вважаючи перемикач абсолютно надійним, визначити ймовірність безвідмовної роботи $p_c(t)$ радіосигнали каналу, середній час безвідмовної роботи m_{tc} каналу. Визначити також $p_c(t)$ при t = 100 год.

Завдання 5.10. Пристрій автоматичного пошуку несправностей складається з двох логічних блоків. Середній час безвідмовної роботи цих блоків однаково і для кожного з них дорівнює$m_1 = 200$ годину.потрібно визначити середній час безвідмовної роботи пристрою m_{tc} для двох випадків: а) є ненавантажений резерв всього пристрою; б) є ненавантажений резерв кожного блоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Збірник завдань по теорії надійності / За редакцією А.М. Половко і І.М. Малікова. – М .: Радянське радіо, 1972
2. Ковальчук В.В., Моїсєєв Л.М. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. - 2-е видання, перероблене і доповнене. - К.: ВД «Професіонал», 2004, - 208 с.
3. Власенко К. Теорія ймовірності та математична статистика. Навчальний посібник/К. Власенко, Н.Грудкіна, С. Шевцов, О. Чумак.-Краматорськ: ДДМА,2018.- 165с.
4. Канарчук В.Є. Надійність машин.Підручник/В.Є. Конарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмирієв.-К.:Либідь,2003,-424с.